

Tagungsbeitrag zu:  
Vortrags- und Exkursionstagung zur Bodenschätzung  
AG Bodenschätzung und Bodenbewertung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft,  
Thür. Landesfinanzdirektion, Thür. Landesanstalt für Umwelt und Geologie  
14. - 16.09.2016 in Ilmenau  
Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation), <http://www.dbges.de>

## **Bodenbewertung und Ernteerträge: Analyse internationaler Datensätze**

Lothar Müller<sup>1,5</sup>, Frank Eulenstein<sup>1</sup>, Uwe Schindler<sup>1</sup>, Axel Behrendt<sup>1</sup>, Volker Hennings<sup>2</sup>, Victor G. Sychev<sup>3</sup>, Vladimir Romanenkov<sup>4</sup>, Askhad K. Sheudzhen<sup>5</sup>, Abdulla Saparov<sup>6</sup>, Konstantin Pachikin<sup>6</sup>, Sergey M. Lukin<sup>7</sup>

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Das Muencheberger Soil Quality Rating (M-SQR) ist ein Verfahren zur skalenübergreifenden Bewertung der Produktivitätsfunktion von Böden. Die Kennziffern dieses für den globalen Maßstab konzipierten Bodenschätzungsverfahrens sollen eine Begutachtung von Ertragspotentialen anhand von standörtlichen Indikatoren ermöglichen. Im Hinblick auf die Objektivierung der Schätztabellen prüften wir die Beziehungen zwischen Standortfaktoren, Boden-Bonitierungsverfahren und Ertrag landwirtschaftlicher Kulturen auf einer Vielzahl von Agrarstandorten. Grundlage waren Felduntersuchungen an Bodenprofilen, mittlere monatliche Klimadaten und mittlere Ernteerträge benachbarter Parzellen. Die Daten wurden mit multivariaten statistischen Verfahren analysiert. Im Ergebnis konnten wir

<sup>1</sup>Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), 15374 Müncheberg, Eberswalder Str. 84, [Email: mueller@zalf.de](mailto:mueller@zalf.de)

<sup>2</sup>Büro für Bodenfunktionsbewertung, Strousbergstraße 9, 30449 Hannover, Germany

<sup>3</sup>Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova St. 31a, 127550 Moscow, Russia

<sup>4</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Leninskie Gory 1-12, GSP-1, 119991 Moscow Russia

<sup>5</sup>Kuban State Agrarian University, 13 Kalinin Str, Krasnodar 350044, Russia

<sup>6</sup>Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry named after U.U. Uspanov, Al Faraby Ave 75b, 050060 Almaty, Kazakhstan

<sup>7</sup>All-Russian Research Institute for Organic Fertilization and Peat (VNIIOU), 601390 Vyatkinskoye 492.2, Vladimir Region, Russia

die standörtliche Trockenheit und das Thermalregime der Böden als maßgebliche ertragsbeeinflussende Faktoren identifizieren und quantifizieren. Auf dieser Grundlage wurden sowohl die Bewertungstabellen des M-SQR-Verfahrens präzisiert als auch Regressionsgleichungen für die Abschätzung von Erträgen aus den Bodenpunkten des M-SQR abgeleitet. Wir schlussfolgern, dass das M-SQR Verfahren als Welt-Bodenschätzung hinreichend präzise und praktikabel ist. Das beinhaltet sowohl die Feldmethodik als auch die Kartierung von Ertragspotentialen.

**Schlüsselworte:** Boden, Bewertung, Indikatoren, Acker, Grasland, Getreide, Crop Yield, Soil

### **AUFGABENSTELLUNG**

Bewertungsverfahren der Bodengüte sollten möglichst präzise und reproduzierbare Ergebnisse liefern, aber auch relativ einfach und praktikabel sein. Zur Bodenschätzung im globalen Maßstab wurde das Muencheberger Soil Quality Rating (M-SQR) entwickelt. Das M-SQR-Handbuch (Mueller et al. 2007) enthält die Grundregeln des Verfahrens. Mit dem Ziel, dessen Bewertungstabellen zu aktualisieren, waren Beziehungen zwischen Standortfaktoren und Ernteerträgen zu re-evaluieren. Hierzu galt es Fragen zu klären, die permanent im Fokus landwirtschaftlicher Bodennutzung stehen:

- Welche Bodeneigenschaften und Standortfaktoren bestimmen das Ertragsniveau der Kulturpflanzen?
- Gibt die Kenntnis des Bodentyps hinreichende Informationen über die Ertragspotentiale?
- Was können Bodenschätzungsverfahren über die leistungsbegrenzenden Standortfaktoren aussagen?
- In welchem Maße widerspiegeln Bonitürkennziffern der Bodengüte das Ertragsniveau?
- Bei welchen Pflanzenarten korrelieren Ertragskennziffern besonders eng mit Standortfaktoren?
- Wie hoch ist der Einfluss von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Erträge?

Dazu analysierten wir Beziehungen zwischen Bodeneigenschaften, Boden-Bonitürkennziffern, weiteren Standortfaktoren und Ernteerträgen auf Versuchsstandorten in unterschiedlichen Klimaten. Die Mehrzahl dieser Standorte lag in Deutschland, Russland und Kasachstan.

Die Analyse stützt sich überwiegend auf eigene Bodenaufnahmen, Klassifikationen nach dem internationalen Bodenklassifikationssystem WRB (WRB 2006; IUSS Working Group WRB 2014), und Bonituren nach dem Muencheberger Soil Quality Rating (Abb. 1). Bodenschätzungsergebnisse nationaler Bonitursysteme und Ertragswerte wurden durch lokale Experten bzw. die Versuchsansteller bereitgestellt. Die Auswertung erfolgte mittels multivariater statistischer Verfahren.

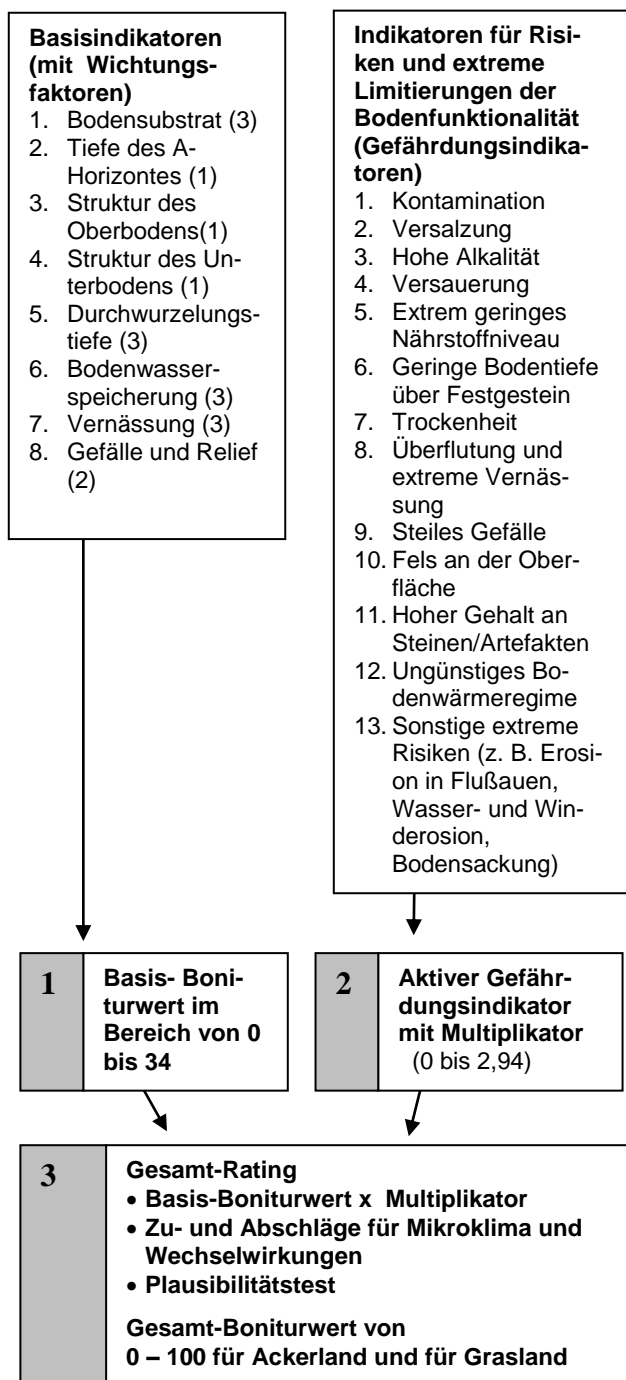


Abb. 1: Schema des Muencheberger Soil Quality Ratings (M-SQR)

## ERGEBNISSE und DISKUSSION

Das Klima steuert sowohl Bodenprozesse als auch die Produktivität der Agrarproduktion. Viele Böden sind durch Trockenheit und Kälte in ihrer Produktivität limitiert. Diese Faktoren wurden hinsichtlich ihrer Ertragswirksamkeit quantifiziert. Internationale Versuchsstandorte liegen auf regions-typischen fruchtbaren Agrarstandorten. Verfügbarkeit von Wasser und Wärme sind hier die entscheidenden Faktoren der Ertragsbildung. Beziehungen zwischen Standortfaktoren und Ernteerträgen sind skalenabhängig. Im globalen Maßstab ergab die Faktoranalyse eine Dominanz von Kennziffern des Standortwasserhaushaltes und des Thermalregimes. Getreideerträge korrelierten besonders eng mit diesen Faktoren. Düngung und Fruchtfolge zählten im globalen Maßstab zu den sub-dominanten Faktoren im Hinblick auf die Ertragsbildung. Im Feld- und Regionalmaßstab wirkt der standörtliche Wasserhaushalt ebenfalls dominant. Hier haben jedoch Düngung, Fruchtfolge und Bearbeitungsverfahren einen signifikanten Einfluss auf Bodenstruktur und Ertrag. Kennziffern der Bodenstruktur korrelieren im Feld- und Regionalmaßstab mit Getreideerträgen.

Bodenschätzungsverfahren können Ertragspotentiale nur dann adäquat abbilden, wenn den Schätzverfahren die in der jeweiligen Skale relevanten Standortfaktoren zugrunde liegen. Bodenschätzungsverfahren mit fehlender oder geringer Klimaanpassung wie die Bodenschätzung in Deutschland lassen daher nur für den Feld- und Regionalmaßstab enge Ertragsbeziehungen erwarten.

Das Müncheberger Soil Quality Rating (M-SQR) berücksichtigt überregionale Klimafaktoren auf einfache aber hinreichende Weise. Die mittlere standörtliche Trockenheit wird mittels eines groben Budget- und Bilanzansatzes abgeschätzt. Temperatur und Vegetationstage werden ebenfalls berücksichtigt. Diese Klimaanpassung führt skalenübergreifend zu signifikanten und plausiblen Korrelationen zwischen Boden-Boniturkennziffern und Erträgen. Die Regressionsgleichungen weisen für Getreide Bestimmtheitsmaße von 0,5 bis 0,8 auf. Bei hoher und übermäßig hoher Stickstoffdüngung (> 100 kg/ha bzw. > 180 kg/ha)

wurden weniger enge sowie nichtlineare Beziehungen gefunden. Da die Kennziffern des M-SQR Basisratings mit den Ackerzahlen der Bodenschätzung korrelieren (Mueller et al. 2011), können unter Nutzung einfacher Klimafaktoren die Ergebnisse der Bodenschätzung für viele Standorte in Deutschland in die international vergleichbaren Bodenpunkte des M-SQR näherungsweise umgerechnet werden.

Auf Wiesen und Weiden sind die Beziehungen zwischen Boden-Boniturkennziffern und absoluter oberirdischer pflanzlicher Biomasse allgemein gering. Die absolute Biomasse ist nicht der geeignete Ertragsparameter, da semi-aquatische Pflanzenbestände wie Seggen auf Nässestandorten hohe Biomasse ohne praktischen Futterwert produzieren. Der effektive Graslandertrag (verwertbare oberirdische Biomasse) ist ein geeigneter Ertragsparameter. Die Bestimmtheitsmaße der Regressionen des effektiven Graslandertrages mit Boden-Boniturnumerten liegen in ähnlicher Größenordnung wie auf Ackerland.

Die in den Tabellen 1 und 2 sowie in der Publikation Mueller et al. (2016) angegebenen Schätztabellen ersetzen bisherige Schätztabellen des Handbuches (Mueller et al. 2007).

Es bestätigte sich, dass Bodentypen nur sehr lose und in einigen Regionen überhaupt keine Beziehungen zu Erträgen aufweisen. Namensgebende Bodenklassifikationsverfahren wie auch die WRB können daher Ertragspotentiale der Böden nicht hinreichend genau widerspiegeln. Wir sehen in der Kombination des internationalen Bodenklassifikationssystems WRB mit dem Muencheberger Soil Quality Rating einen praktikablen Ansatz für ein neues globales Bodenklassifikationssystem. Dieser Ansatz führt zu prozessrelevanten Bodenbezeichnungen (WRB) sowie zu ertragsrelevanten Bodengütekennziffern (M-SQR).

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

1. Fast alle nationalen namensgebenden Bodenklassifikationssysteme und das internationale Klassifikationssystem WRB können die Produktivitätspotentiale der Böden nicht hinreichend abbilden.

2. Das Müncheberger Soil Quality Rating (M-SQR) wurde als Weltbodenschätzung

konzipiert. Es berücksichtigt Klimafaktoren hinreichend. Maßstabsübergreifend bestehen gesicherte Beziehungen zur Kornernträgen von Getreide und zu Effektiv-Erträgen des Graslandes. Das M-SQR ermöglicht die Potentialbewertung von Böden, Standorten und Anbauregionen.

3. Eine Potentialkarte der Bodengüte für Deutschland wurde bereits erarbeitet (Hennings et al. 2016). Die Erarbeitung einer direkt vergleichbaren Karte für Russland, Kasachstan und weitere Regionen ist möglich.

4. Die Anwendung des M-SQR in Kombination mit der WRB 2014 liefert hinreichende Informationen über standörtliche Produktivitätspotentiale der Böden und die diesen Potentialen zugrunde liegenden Bodeneigenschaften und Prozesse. Wir sehen darin den Ansatz für ein neues globales Bodenklassifikationssystem.

## Literatur

Hennings, V., Höper, H., Mueller, L. (2016) Small-Scale Soil Functional Mapping of Crop Yield Potentials in Germany. In: Mueller, L., Sheudshen, A. K., Eulenstein, F. (eds). Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia, Springer Water. Springer International Publishing, Cham.p. 597-617.

[http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-24409-9\\_27](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-24409-9_27)

IUSS Working Group WRB (2014) World reference base for soil resources 2014. Edited by Schad P, van Huyssteen C, Micheli E. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. 189 p. ISBN 978-92-5-108369-7

Mueller, L., Schindler, U., Behrendt, A., Eulenstein F., Dannowski, R. (2007): The Muencheberg Soil Quality Rating (SQR). Field Guide for Detecting and Assessing Properties and Limitations of Soils for Cropping and Grazing, Manuskript, Ausgabe Okt. 2007a, 58 S., [http://www.zalf.de/de/forschung\\_lehre/publikationen/Documents/Publikation\\_Mueller\\_L/field\\_mueller.pdf](http://www.zalf.de/de/forschung_lehre/publikationen/Documents/Publikation_Mueller_L/field_mueller.pdf)

Mueller, L., Smolentseva, E., Rukhovitch, O., Lukin, S., Hu, C., Li, Y., Schindler, U., Behrendt, A., Hennings, V., Sauer, S., Vorderbrügge, T. (2011) Zur Bewertung von Bodengüte und Ertragspotentialen in Agrarlandschaften. In: Böden verstehen - Böden nutzen - Böden fit machen: Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, Oldenburg pp. 1-4. [http://eprints.dbges.de/680/1/LM%C3%BCller\\_DBG11.pdf](http://eprints.dbges.de/680/1/LM%C3%BCller_DBG11.pdf)

Mueller, L., Schindler, U., Hennings, V., Smolentseva, E. N., Rukhovich, O.V., Romanenkov, V.A., Sychev, V.G., Lukin, S., Sheudshen, A.K., Onishenko, L., Saporov, A., Pachikin, K., Behrendt, A.,

Mirschel, W., Eulenstein, F. (2016) An Emerging Method of Rating Global Soil Quality and Productivity Potentials. In: Mueller, L., Sheudshen, A. K., Eulenstein, F. (eds). Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia, Springer Water. Springer International Publishing, Cham.p. 573-595  
[http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-24409-](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-24409-9_26)

9\_26  
[https://www.researchgate.net/publication/296614069\\_An\\_Emerging\\_Method\\_of\\_Rating\\_Global\\_Soil\\_Quality\\_and\\_Productivity\\_Potentials](https://www.researchgate.net/publication/296614069_An_Emerging_Method_of_Rating_Global_Soil_Quality_and_Productivity_Potentials)  
 WRB (2006) World Reference Base for Soil Resources 2006, Classification, Correlation and Communication, FAO Rome, 2006, World Soil Resources Reports 103, 145p.

**Tabelle 1: Abschätzung des mittleren standörtlichen Risikos für Trockenheit, bezogen auf 4 Monate Vegetationszeit**

Score	Trockenheitsgefährdung	Wasser-Budget mm	Wasser-Bilanz mm	Niederschlag mm	Defizit KWB mm	De Martonne Index
2	Keine	> 500	> 50	> 280	< 50	>38
1,75	Sehr gering	450 - 500	25 bis 50	250–280	50–110	35-38
1,5	Gering	390 - 450	-25 bis 25	220–250	110–170	32-35
1,25	Mittel	320 - 390	-100 bis -25	180–220	170–230	28-32
1	Hoch	250 - 320	-200 bis -100	140–180	230–300	24-28
0,75	Sehr hoch	180 - 250	-400 bis -200	100–140	300–400	18-24
0,5		110 - 180	-600 bis -400	60–100	400–600	13-18
0,25	Extrem hoch	< 110	< -600	< 60	> 600	< 13

Anmerkungen zu Tabelle 1: Es sollten mindestens 2-3 Kriterien berücksichtigt werden, darunter das Wasserbudget mit besonderer Wichtigkeit. Das Wasserbudget beinhaltet den verfügbaren Bodenwasserspeicher zu Beginn der Vegetationsperiode (Wpfl) zuzüglich Niederschlag und Zusatzwasserdargebot in der Haupt-Vegetationszeit von 4 Monaten. Die Wasserbilanz ergibt sich aus Wasserbudget minus potentieller Evapotranspiration in diesem Zeitraum. Der De Martonne Index =  $[P/(T + 10) + 12 p/(t + 10)]/2$ , wobei P = Summe des jährlichen Niederschlages, T = mittlere Jahrestemperatur, p Niederschlags-summe des trockensten Monats, t Temperatur des trockensten Monats. Standorte in Mitteleuropa liegen im Bereich mittlerer Trockenheitsgefährdung, z. B. Sandstandorte in Brandenburg score 1,25, bis keine Trockenheitsgefährdung, score 2, z. B. Atlantische Regionen oder Bewässerungsflächen.

**Tabelle 2: Orientierungswerte für die Ableitung der Multiplikatoren, Universaltablelle**

	Orientierungswerte für den Multiplikator bei Anzahl der Gefährdungsindikatoren				
Score des kritischen Gefährdungsindikators	0	1	2	3	4
2	2,94				
1,75		2,8	2,5	2,3	2,1
1,5		2,6	2,3	2,1	1,9
1,25		2,3	1,9	1,7	1,4
1		1,9	1,5	1,2	0,9
0,75		1,5	1,2	0,9	0,7
0,5		1	0,8	0,5	0,3
0,25		0,5	0,3	0,2	0,1
0		<0,2	<0,1	<0,1	<0,1

Anmerkungen zu Tabelle 2: Der Multiplikator leitet sich aus dem Score des kritischen Gefährdungsindikators (Trockenheit oder Thermalregime) und der Anzahl der Gefährdungsindikatoren ab. Für die Mehrzahl der Versuchsstandorte ergibt diese Tabelle plausible Schätzwerte für M-SQR Bodengütepunkte. Multiplikatoren < 1,9 sind in Deutschland extrem selten.